

ドローンの安定化飛行に関する研究

2019SC014 井出 健斗

指導教員：中島 明

1 はじめに

近年ドローンは日常生活で利用される機会が増えた。1990年代中頃からコンピュータの小型化が進むことにより、野波 健蔵氏はドローンのもととなるヘリコプターなどのラジコンを完全自律させようとした [1]。ドローンの発展をさらに加速させたものがスマートフォンや GPS の小型化であり、今後 5G が導入されることで、様々な通信において人間を通さずに自律することが可能になるのではないかと言われている。

社会をよりよくするための例として、輸配送業務の高度化に向けてドローンを活用しようとする動きがみられる [2]。車などの人力による運送からドローンの配送に変えていくことにより、コスト削減だけでなく少子高齢化による労働力の対策も取ることが可能になると考えられる。こういった動きを進めるため、補助者なしでの飛行や機体性能、運行管理や騒音などの課題を解決しなければならない。

そういった運行管理に関しては DRESS プロジェクトというものがあり、ドローン同士や他の有人航空機との衝突を防ぐために進められている [3]。

様々な事故や不安要素を無くし安全に使用できるようにするために、また落下のみならず、自然風や天候などの自然現象の対策を取るためにも、ドローンの制御を確実に行わなければならない。そこで基礎となる二次元空間におけるドローンの姿勢制御の安定化を目指す。これはもともと直立ではない状況での設定となるため、直立を目指すという点では自然現象に対応するための第一歩と考えられる。

2 制御対象と運動方程式

はじめに今回のドローンのイラストを図 1、各名称を表 1、与えられたパラメータを表 2 とする。

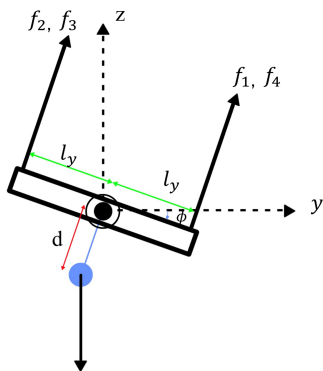


図 1 二次元空間におけるドローン

図 1、表 1、表 2 より運動方程式を作成する。図 1 では機体が時計回りに傾いており反時計回りに回転させたい

表 1 ドローン飛行における各名称

| 記号 | 名称 |
|----------------------|-----------------|
| m_b | ドローンシステムの質量 |
| J_{xx} | 慣性モーメント |
| l_y | 中心からモータまでの長さ |
| d | ドローンの中心と重心までの距離 |
| μ | 軸の粘静摩擦係数 |
| ϕ | 回転角度 |
| $f_i (i=1, 2, 3, 4)$ | 各ロータの推力 |

表 2 ドローン飛行におけるパラメータ

| 記号 | 値, 単位 |
|----------|--|
| m_b | 1.20[kg] |
| J_{xx} | 7.309×10^{-3} [kgm ²] |
| l_y | 0.17[m] |
| d | 0.04[m] |
| μ | 5.85×10^{-3} [Nms/rad] |

め、反時計回りを正としてモーメントを考え、 $\ddot{\phi}$ を左辺にまとめると、

$$J_{xx}\ddot{\phi} = -\mu\dot{\phi} - m_bgd \sin \phi - (f_1 + f_4)l_y + (f_1 + f_3)l_y \quad (1)$$

$$\ddot{\phi} = -\frac{\mu}{J_{xx}}\dot{\phi} - \frac{m_bgd}{J_{xx}} \sin \phi + \frac{(-f_1 - f_4 + f_2 + f_3)l_y}{J_{xx}}$$

と求まる。

3 制御方法

制御方法には様々な種類がある。卒業論文では P 制御、PD 制御 (外乱がないときに使用される [5])、PID 制御について説明しているが、ここでは PID 制御について説明する。PID 制御とは PI 制御に偏差の微分値 $\dot{e}(t)$ を用いた D 制御を加えた方式である。このとき、コントローラ $C(s)$ の入出力は

$$U(s) = \left(K_p + \frac{K_i}{s} + K_d s \right) E(s) = \frac{K_d s^2 + K_p s + K_i}{s} E(s)$$

と与えられる。D 制御は偏差の絶対値の増減により、増加なら減少、減少なら増加するよう働く制御である [4]。

4 ラウスの安定判別法

ラウスの安定判別法とは伝達関数 $G(s)$ の分母多項式が s に関して 1 次または 2 次、3 次以上であれば分母多項式 = 0 を解くことによって、システムの極を求め、その安定性を判別するものである [4]。

式 (1) をラプラス変換すると伝達関数は

$$G(s) = \frac{ly}{J_{xx}s^2 + \mu s + m_bgd}$$

と求まる．実際の数値を代入し，分母に着目すると

$$7.309 \times 10^{-3}s^2 + 5.85 \times 10^{-3}s + 1.20 \times 9.8 \times 0.04$$

となり，[4] に記載される「条件：分母多項式の s の係数がすべて正の値である」を満たす．よって [4] をもとにラウス数列を求めると，

$$\{7.309 \times 10^{-3}, 5.85 \times 10^{-3}, 1.20 \times 9.8 \times 0.04\}$$

となる．これは全て正の値かつ不安定な極は 0 であるから，制御対象のドローンは安定することが分かった．

5 実行結果

今回は角度を制御するにあたり，定常偏差をなくしたいため PID 制御を行う．制御対象を図 2 とし，実行した数値を表 3 にまとめる．

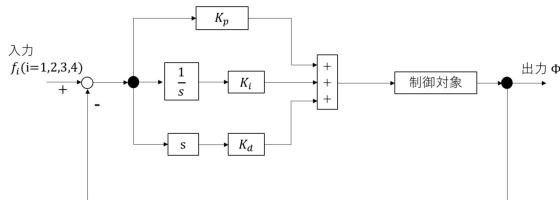


図 2 二次元空間における姿勢角制御のブロック線図

表 3 実行結果

| P ゲイン | I ゲイン | D ゲイン | 評価 |
|------------|--------------|-------------|----|
| $K_p = 1$ | $K_i = 1$ | $K_d = 1$ | × |
| $K_p = 1$ | $K_i = 1$ | $K_d = 2$ | × |
| $K_p = 2$ | $K_i = 1$ | $K_d = 0.5$ | × |
| $K_p = 5$ | $K_i = 1$ | $K_d = 0.5$ | × |
| $K_p = 5$ | $K_i = 0.5$ | $K_d = 0.5$ | × |
| $K_p = 8$ | $K_i = 0.5$ | $K_d = 0.5$ | × |
| $K_p = 8$ | $K_i = 2$ | $K_d = 0.5$ | × |
| $K_p = 8$ | $K_i = 0.01$ | $K_d = 1$ | ○ |
| $K_p = 10$ | $K_i = 0.01$ | $K_d = 1$ | ◎ |
| $K_p = 10$ | $K_i = 0.1$ | $K_d = 1$ | ◎ |
| $K_p = 8$ | $K_i = 0.1$ | $K_d = 1$ | ○ |
| $K_p = 5$ | $K_i = 0.1$ | $K_d = 1$ | ○ |
| $K_p = 7$ | $K_i = 0.1$ | $K_d = 1$ | ○ |
| $K_p = 12$ | $K_i = 0.1$ | $K_d = 1$ | ○ |
| $K_p = 15$ | $K_i = 0.8$ | $K_d = 1$ | △ |
| $K_p = 15$ | $K_i = 0.01$ | $K_d = 2$ | ○ |

$K_p = 12$, $K_i = 0.1$, $K_d = 1$ のときの応答を図 3 とする．

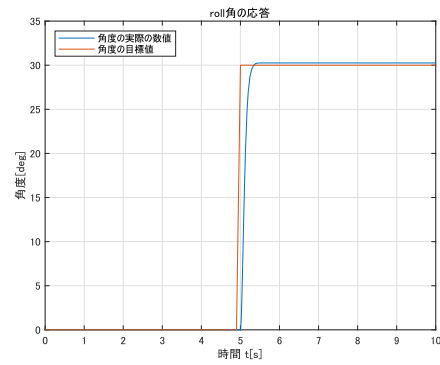


図 3 $K_p = 10$, $K_i = 0.01$, $K_d = 1$ のときの応答

図 3 は表 3 の中でオーバーシュートがなく，立ち上がりは早く，そして定常偏差が小さかったため，一番適切な応答であると考えた．

定常偏差をなくすことに関して，P ゲインを 4600 まで上げることでなくすることができるが，応答が振動的かつ現実的な数値ではないため，図 3 がやはり適切であると考えられる．

6 おわりに

本研究では二次元空間におけるドローンの姿勢制御についてラウスの安定判別法を用いて安定か否かを調べたのち，MATLAB 上でシミュレーションを行った．PID 制御やそれ以外の制御法についても軽く触れたのち，PID 制御を使用して様々な値を代入し，目標値に追従する姿勢制御を行うことができた．

今後の展開として，横風が吹いている状況下での二次元空間における姿勢制御，垂直上向きに飛び出すような高度制御を経て，最終的に三次元空間での飛行を目指し，より快適なドローンを開発する．

参考文献

- [1] 野波 健蔵：『空の産業革命—「飛行ロボット」としての次世代ドローン—』，日本機械学会誌 第 121 巻 第 1200 号，4-7，2018
- [2] 上田 貴之：『輸配送業務の高度化に向けたドローン活用』，日本機械学会誌 第 121 巻 第 1200 号，18-19，2018
- [3] 宮本 和彦：『DRESS プロジェクトの成果と課題について』，日本機械学会誌 第 121 巻 第 1200 号，12-13，2018
- [4] 佐藤和也・平元和彦・平田研二：『はじめての制御工学 改訂第 2 版』，講談社，東京，2020
- [5] こんとろラボ『PI 制御・PD 制御・PID 制御の違いと選び方』<https://controlabo.com/pd-pi-pid/#toc9>，2019